

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Теоретическая и промышленная теплоэнергетика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ ОБОГРЕВАЕМЫХ ТРУБОПРОВОДОВ</b>

УДК: 621.643:536

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6Б	Ермошкин Илья Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Половников Вячеслав Юрьевич	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т.Г.	к.э.н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель Отделения/НОЦ/ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Антонова А.М.	К.Т.Н. доцент		

**Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Универсальные компетенции</b>	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать

	опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<b><i>Специальные профессиональные</i></b>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Подразделение: Инженерная школа энергетики

Направление подготовки: 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Отделение: НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата) Антонова А.М.

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студент:

Группы	ФИО
5Б6Б	Ермошкин И.А.

Тема работы:

<b>Численный анализ влияния теплового воздействия окружающей среды на металлические опоры надземных трубопроводных систем</b>	
Утверждена приказом ректора (дата, номер)	<b>№41-31/с от 10.02.2020 г.</b>

Срок сдачи студентом выполненной работы:
--

15 июня 2020 года
-------------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

##### **Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

Объект исследования – терморегуляторы магистральных трубопроводов, проложенные надземным способом в районах Крайнего Севера  
Цель работы – моделирование теплопереноса в слое тепловой изоляции трубопровода с учётом влияния теплового воздействия внешней среды.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6Б	Ермошкин Илья Александрович

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	НОЦ Н.И. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Численное моделирование обогрева промышленных трубопроводов	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Объектом исследования являются терморегуляторы магистральных нефтегазопроводах, проложенные надземным и подземным способом.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Специальные: • Режим рабочего времени регламентируется в соответствии с ТК РФ ст. 100; • Оплата и нормирование труда регулируются в соответствии с ТК РФ Раздел VI; • Глава 14 ТК РФ отражает защиту персональных данных работника. • Права работника отражены в ТК РФ, ФЗ № 197. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: • Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78; • В соответствии с СН-245-71 в помещении должен быть организован воздухообмен. • СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. • ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	2.1. Вредные факторы при функционировании теплотехнического оборудования. Отклонения температуры и влажности воздуха от нормы; условия микроклимата; недостаточная освещенность; повышенный уровень электромагнитного излучения; повышенный уровень шума. 2.2. Факторы опасностей при функционировании теплотехнического оборудования. — Основными причинами воздействия тока на человека являются: случайное прикосновение к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала; появление напряжения на отключенных токоведущих частях.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	— воздействие на атмосферу (выбросы);
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	— Возможные ЧС на объекте: техногенного характера - пожар; короткое замыкание; поражение электрическим током.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6Б	Ермошкин И.А.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

# «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6Б	Ермошкину Илье Александровичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад научного руководителя 27000 руб.;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы 10%; Районный коэффициент 30% Норма амортизации 33,3 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Описание потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование работ, разработка диаграммы Ганта, формирование бюджета затрат.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности – 3,95 Интегральный показатель эффективности – 4,384 Сравнительная эффективность проекта – 1,086

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности НТИ
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НТИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

## Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Учебная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т.Г.	к.э.н. доцент		

## Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6Б	Ермошкин Илья Александрович		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 71 с., 15 рис., 18 табл., 44 источника.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, математическое моделирование, энергосбережение, тепловая изоляция, электрообогрев.

Объектом исследования является оборудование для электрообогрева магистральных трубопроводов, проложенные надземным способом.

Цель работы – моделирование теплопереноса в теплоизоляционном слое трубопровода с учётом наличия электрообогрева и влияния теплового воздействия внешней среды.

Результаты численного моделирования позволяют сделать вывод о том, что с понижением температуры наблюдается увеличение тепловых потерь.

Результаты численного моделирования, позволяют сделать вывод о том, что с понижением температуры наблюдается снижение тепловых потерь на 25 %.

Область применения: тепломассообменное оборудование, системы транспортировки нефти и газа.

## Оглавление

Введение .....	10
Глава 1. Методы теплового расчета и конструкции систем обогрева промышленных трубопроводов.....	14
1.1 Характеристики систем обогрева промышленных трубопроводов.....	14
1.1.1 Классификация нагревательных кабелей и лент .....	14
1.2 Методы теплового расчета систем обогрева трубопроводов .....	20
Глава 2. Постановка задачи теплопереноса обогрева промышленных трубопроводов и метод её решения .....	24
2.1 Физическая и геометрическая постановка задачи.....	24
2.2 Математическая постановка задачи.....	25
2.3 Метод решения.....	26
3.1 Исходные данные.....	29
3.2 Результаты численного анализа .....	30
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	37
4.1. Потенциальные потребители результатов исследования .....	37
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	38
4.3 SWOT-анализ .....	40
4.4 Планирование научно-исследовательской работы.....	43
4.4.1 Структура работ.....	43
4.5.2 Расчёт амортизационных отчислений .....	45
4.5.3 Расчёт заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды ..	46
4.5.4 Расчёт общей себестоимости.....	48
Глава 5. Социальная ответственность .....	50



5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	38
5.2 Производственная безопасность .....	41
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	42
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя.....	46
5.3 Экологическая безопасность.....	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	54
Список используемых источников:.....	55

## **Введение**

Еще двадцать лет назад использование электрического отопления в трубопроводах и резервуарах в нашей стране было очень ограничено, но с увеличением добычи углеводородов в районах Крайнего Севера и Сибири крайне необходимы современные технологии отопления, связанные с добычей, транспортировкой и переработкой углеводородов высокой вязкости при низкой температуре. Актуальная потребность в обогреве трубопроводов в условиях Крайнего Севера обусловлена тем, что образование парафиновых, ледяных и газогидратных пробок затрудняет транспортировку добываемых ресурсов. [1].

Отсутствовали апробированные в деле методы расчетов и проектирования систем электрообогрева, номенклатура нагревательных элементов была весьма ограничена, не было общепризнанных методов испытаний продукции и готовых систем, также, как и не было специалистов, знакомых со всем комплексом стоящих задач [1].

Ситуация полностью изменилась за последние десятилетия. В области использования систем электрического отопления для трубопроводов и резервуаров в стране создана целая группа экспертов, и накоплен многолетний опыт работы [1].

Различные типы нагревательных кабелей, нагревательных секций, нагревательных элементов, термостатов и источников питания и систем управления были разработаны и освоены в производстве. Метод проектирования подходящей системы отопления связан с построением системы тепловой изоляции. Разработаны методы монтажа и обслуживания систем электрообогрева в условиях эксплуатации, соответствующих различным климатическим зонам Российской Федерации. [1].

В настоящее время широко используется электрообогрев, но в технической литературе оно освещается в очень небольших количествах. Фактически, за последние 5-7 лет было опубликовано несколько международных стандартов для систем электрообогрева, нагревательных

кабелей, методов расчета и испытаний. Некоторые из этих стандартов были внедрены в России. Развитие производства, транспортировки и переработки нефти и нефтепродуктов выявило проблему необходимости подогрева трубопроводов, резервуаров и других объектов. С развитием нефтяной промышленности число объектов, требующих электрообогрева, неуклонно растет. В частности, использование заводнений, то есть закачка воды в водоемы требует обогрева трубопроводов [2].

Развитие производства, транспортировки и переработки нефти и нефтепродуктов выявило необходимость в обогреве трубопроводов, резервуаров и других объектов [2].

В зависимости от типа отапливаемого объекта используются различные методы построения отопления. [2]:

- обогрев дымовыми газами трубчатых подогревателей и цистерн с нефтепродуктами;
- обогрев открытым паром, т.е. подача насыщенного пара в нефтепродукт;
- обогрев путем подачи теплоносителя в «рубашку» цистерны, трубопровода или резервуара;
- использование встроенных подогревателей.

С 60-х годов прошлого века постепенно электрообогрев стал применяться в основном в зарубежной практике, чему способствовали следующие факторы: [4]:

- увеличение производства электроэнергии;
- появление более качественных теплоизоляционных материалов и, соответственно, снижение потребных мощностей для обогрева;
- все более широкое применение автоматизации.

Важным шагом в исследовании электрического нагрева трубопроводов было японское изобретение – индукционно – резистивная нагревательной

системы обогрева (скин – система), основанной на использовании скин-эффектов. Эта система используется для обогрева длинных и очень длинных трубопроводов. Система электрического обогрева кожуха трубопровода отличается высокой надежностью, безопасностью и положительными характеристиками, такими как отсутствие сопровождающего источника электропитания [3].

Системы трубопроводного отопления можно разделить на два основных класса: система компенсации тепловых потерь и система подогрева проточной жидкости. Принцип системы отопления, предназначенной для компенсации потерь тепла, заключается в том, что система отопления должна компенсировать потери тепла, вызванные этим трубопроводом, если требуемая температура поддерживается по всей длине трубопровода. Система обогрева предназначена для повышения температуры жидкости при прохождении через трубу и компенсации потерь тепла, возникающих в этом процессе [2].

Преимущество электрообогрева по сравнению с другими видами обогрева [1]:

- удобство конструктивного выполнения;
- высокая концентрация мощности;
- постоянство мощности обогрева по длине трубопровода;
- широкие возможности регулирования температуры нагрева объекта;
- относительная простота встраивания в системы автоматизации высокого уровня;
- относительно невысокая материалоемкость и экономическая эффективность за счет оптимального расхода электроэнергии;
- экологичность

Современные нефтяные, газовые или нефтехимические компании представляют собой комплексы технологических установок, платформ,

скважин и резервуаров, соединенных между собой широкой сетью технологических трубопроводов.

Нефть, газ и конденсат, добываемые из скважин, прокачиваемых по внутриплощадочным трубопроводам, проходят через сложную систему очистки и подготовки и попадают в транспортный магистральный трубопровод по внутриплощадочным трубопроводам. Во время транспортировки углеводородное сырье перекачивается насосной станцией и накапливается в промежуточных и конечных резервуарах транспортного терминала и резервуарного парка. Насосные станции, нефтебазы и судовые терминалы оснащены технологическими и измерительными трубопроводами, требующих обогрева, системами резервуаров, открытыми площадками и зданиями [2].

На нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах сырая нефть разделяется на фракции, и в результате сырье перерабатывается в различные углеводородные продукты, различные виды топлива, масла, пластмассы и т. д. НПЗ - это огромный производственный комплекс, состоящий из сотен технических единиц, сотен километров трубопроводов, промежуточных и накопительных резервуаров [4].

Основные задачи применения систем электрообогрева это [1]:

- поддержание температуры транспортируемого продукта (вода, нефть, нефтепродукты, газ) до 80°C на месторождениях;
- поддержание температуры транспортируемого продукта (мазут, битум, сера) выше 80°C;
- предотвращение выпадения парафинов при транспортировке нефти;
- поддержание температуры продукта (воды или водных растворов) в диапазоне 3 - 5 °C – антизамерзание.

## **Глава 1. Методы теплового расчета и конструкции систем обогрева промышленных трубопроводов**

### **1.1 Характеристики систем обогрева промышленных трубопроводов**

#### **1.1.1 Классификация нагревательных кабелей и лент**

Нагревательные кабели и ленты - кабельный продукт определенного типа, который преобразует электрическую энергию в тепловую энергию для нагревания кабеля и нагревания ленты и выполняет функцию приемника электрической энергии.

Из приведенного выше определения видно, что нагревательные кабели и ленты значительно отличаются от обычных кабелей и проводов, цель которых состоит в том, чтобы минимизировать потери и передавать электрическую энергию с небольшим падением напряжения вдоль линии (обычно 5 или менее) [5].

Нагревательный кабель и лента используются в качестве нагревательных кабелей. Сегменты определенной длины и напряжение, приложенное на этой длине, полностью падают [5]. Поэтому секцию нагрева следует считать обычным приемником электрической энергии (как один из типов электрических нагревательных элементов). Длина кабельной секции нагрева обычно колеблется от нескольких метров до нескольких сотен метров. По внешнему виду он практически не отличается от силовых и монтажных кабелей, но есть существенные различия в методах расчета и правилах эксплуатации.

Трубопроводы, резервуары и техническое оборудование для отопления, в которых используются нагревательные кабели и ленты, могут сильно различаться по размеру, рабочей температуре и возможностям процесса. Поэтому типы и способы использования нагревательных кабелей и лент существенно различаются [5].

В настоящее время различные типы нагревательных кабельных изделий можно классифицировать по следующим признакам [6]:

1. Максимальной температуре;
2. Схеме тепловыделения (физическому механизму);
3. Схеме включения;
4. Конструктивному исполнению.

По максимальной (предельной) температуре [1]:

Безопасные – максимально допустимая температура до 60 °С, кабель не подвержен воздействию температуры и не вызывает коагуляции белка.

Обычные – максимальная температура до 120 °С; Основное назначение - отопление зданий, дорог, площадей, тротуаров, водостоков, трубопроводов.

Среднетемпературные - максимальная температура до 250 °С; Основным назначением является подогрев приборов и приборов технологического оборудования.

Высокотемпературные - максимальная температура 500 °С или выше; Основное назначение - нагрев компонентов и приборов высокотемпературного технического оборудования, а также термообработка различных материалов. [5].

Распределение продуктов по той или иной группе по максимальной температуре в наибольшей степени определяется термостойкостью применяемого изоляционного материала.

По схеме тепловыделения

Резистивные линейные кабели постоянной мощности с тепловыделением в нагревательной жиле (линейные и спиральные, одножильные и многожильные). Многожильные резистивные нагревательные кабели и кабели плоской формы (с ленточными жилами) обычно называют нагревательными лентами [1].

Резистивные зональные кабели (ленты) постоянной мощности с тепловыделением в ряде проволочных нагревательных элементов, соединенных с токопроводящими жилами [5].

Саморегулирующиеся ленты (кабели) с тепловыделением в проводящей полимерной матрице или проводящих пластмассовых элементах [1].

Индуктивные нагревательные кабели с основным тепловыделением за счет токов, наведенных в ферромагнитных элементах, входящих в состав кабеля.

По схеме включения [1]

Нагревательные кабели и ленты по схеме включения в электрическую сеть разделяются на две основные группы:

Кабели (ленты) последовательной схемы - непосредственно или с помощью «холодных» концов (в том числе встроенных) включаются в электрическую сеть так, что тепловыделяющий элемент запитывается по последовательной схеме; сюда относятся резистивные линейные и индуктивные кабели [6].

Метод обогрева трубопроводов с помощью «скин-эффекта» также может рассматриваться как один из вариантов индуктивного кабеля [3]. В этом случае роль индуктирующей обмотки выполняет изолированная жила большого сечения, а роль «загрузки» - стальная труба, в которой эта жила расположена. Тепло выделяется как в жиле, так и в трубе за счет наведенных вихревых токов [6].

Ленты (кабели) параллельной схемы - имеют не менее двух встроенных токопроводящих жил, к которым по параллельной схеме присоединяется ряд тепловыделяющих элементов; сюда относятся резистивные зональные и саморегулирующиеся ленты [6].

По конструктивному исполнению

Конструктивное исполнение кабелей диктуется схемой тепловыделения и максимальной температурой. Одна из схем классификации по конструктивному исполнению приведена в стандарте МЭК 60800, 2-я редакция, однако она касается только резистивных кабелей последовательной схемы, рассчитанных на применение при температурах не выше 100 °С [6].



### **1.1.2 Описание нагревательных кабелей**

#### **Резистивные нагревательные кабели и ленты**

К резистивным нагревательным кабелям и лентам относим те, в которых выделение тепла происходит за счет эффекта Джоуля-Ленца при прохождении электрического тока по нагревательной жиле. Резистивные нагревательные кабели с тепловыделением в нагревательных жилах также называются кабелями последовательной схемы. Нагревательная секция из резистивного кабеля (ленты) конструируется таким образом, чтобы на всей длине нагревательной жилы имело место полное падение приложенного напряжения, но при этом не происходил перегрев элементов секции выше допустимых значений. Длина нагревательной секции обычно составляет от нескольких до сотен метров. Резистивные кабели и ленты могут иметь одну, две или несколько параллельных нагревательных жил, имеющих линейную или спиральную форму. Произвольная резка резистивных кабелей и лент по длине недопустима [7].

#### **Зональные нагревательные ленты**

Резистивные зональные нагревательные кабели (ленты) относятся к нагревательным кабелям параллельной схемы. По принципу действия они не отличаются от обычных резистивных кабелей, но коренным образом отличаются по конструктивному исполнению. Они содержат две параллельные изолированные токопроводящие жилы. Изоляция токопроводящих жил имеет периодически расположенные «окна», смещенные друг относительно друга с заданным шагом (обычно около 1м). Поверх этих двух жил накладывается тонкая проволоочная спираль из сплава высокого сопротивления. В «окнах» спираль замыкается на токопроводящие жилы, в результате кабель представляет набор подключенных параллельно к токопроводящим жилам сопротивлений (резисторов). На каждом из них имеет место полное падение приложенного напряжения. Зональные кабели имеют уплощенную форму и, обычно, называются лентами. Зональные ленты удобны тем, что могут быть разрезаны в любом месте. Минимальная длина

нагревательной секции определяется длиной зоны и обычно равна 1,5 – 2 м [10]. Максимальная определяется сечением токопроводящих жил и линейной мощностью. Поскольку нагревательный элемент резистивных зональных лент выполняется из сплавов высокого сопротивления, их мощность практически не зависит от температуры, поэтому их называют также кабелями (лентами) постоянной мощности [10].

#### Саморегулирующиеся нагревательные кабели (ленты)

Саморегулирующиеся кабели (ленты) также относятся к резистивным нагревательным кабелям параллельной схемы и имеют конструкцию, частично сходную с конструкцией резистивных зональных лент. Они содержат 2 параллельные токопроводящие жилы, но неизолированные. Токопроводящие жилы либо заключены в полимерную проводящую матрицу, либо соединяются через спиральные полимерные нити. Эффект саморегулирования достигается за счет того, что тепловыделяющий элемент ленты, выполненный из полимерного проводящего материала, значительно увеличивает свое сопротивление при нагреве [6].

#### Индуктивные нагревательные кабели

Индуктивные нагревательные кабели в своей конструкции содержат ферромагнитные элементы, а токопроводящие изолированные жилы наложены вокруг ферромагнитных элементов в виде обмотки, индуцирующей в сердечнике переменный магнитный поток. Эффект тепловыделения достигается как за счет резистивных потерь в обмотке, так и за счет резистивных потерь в сердечнике, возникающих от наведенных токов [8].

Соотношение тех и других потерь определяется конструкцией кабеля. Потери в сердечнике могут составлять 80 – 20% общих потерь в кабеле [8]. В первом случае потери в обмотке невелики и она незначительно нагревается за счет собственных потерь, что позволяет получить заметно большую, по сравнению с резистивными кабелями, линейную мощность.

Единственной системой, позволяющей обогревать трубопровод длиной до 60 км (без сопроводительной сети) является индукционно-резистивная система нагрева (ИРСН), или скин-система. Принцип обогрева трубопроводов основан на скин-эффекте. СКИН-эффект – это эффект уменьшения амплитуды электромагнитных волн в зависимости от степени их проникновения внутрь среды проводника. Иначе говоря, это такой эффект, в результате которого при протекании переменного тока электрические заряды под действием электромагнитных явлений внутри проводника вытесняются к его поверхности [9].

Конструкция промышленного трубопровода с системой обогрева состоит из высоковольтной линии, во-вторых комплектной трансформаторной подстанции (КТП), ИР – нагревателя, ИР – проводника, теплоизоляции и самого обогреваемого трубопровода [9].

Нагревательный элемент системы состоит из индукционно-резистивного нагревателя (ИР-нагревателя) наружным диаметром 15–60 мм и толщиной стенки не менее 3,0 мм и проложенного в ней изолированного индукционно-резистивного проводника (ИР-проводника) из меди сечением 8–40 мм<sup>2</sup>. ИР-проводник в конце плеча обогрева электрически соединяется с ИР-нагревателем, а в начале плеча между ИР-нагревателем и проводником подается переменное напряжение, величина которого рассчитывается исходя из необходимого тепловыделения и длины участка обогрева. Токи ИР-проводника и ИР-нагревателя направлены встречно, и в системе имеют место поверхностный эффект и эффект близости. В результате ток в ИР-нагревателе протекает по внутреннему слою вблизи внутренней поверхности ИР-нагревателя, а напряжение на ИР-нагревателе отсутствует. ИР-проводник выполняется немагнитным (медь, алюминий), заметного поверхностного эффекта в нем не возникает, а переменный ток течет по всему сечению ИР-проводника. Основным тепловыделяющим элементом ИРСН является ИР-нагреватель, на него приходится до 80 % мощности системы [9].

## 1.2 Методы теплового расчета систем обогрева трубопроводов

При разработке большинства кабельных изделий необходимо учитывать электрические и тепловые свойства. Это наиболее важно для нагревательных кабелей и лент с улучшенными свойствами рассеивания тепла и тепла. [21].

Тепло, генерируемое в основной секции кабеля, должно преодолевать изоляционный и защитный слой кабеля и тепловое сопротивление кабеля и его окружающих элементов. В этом случае температура тепловыделяющего элемента не должна превышать максимально допустимого значения для материала, используемого в конструкции кабеля. Температура топливного элемента напрямую связана с поверхностной плотностью теплового потока. [21].

Тепло, выделяющееся в элементарном отрезке нагревательной жилы, прямо пропорционально квадрату линейного падения напряжения на жиле  $U_l$  и обратно пропорционально линейному сопротивлению нагревательной жилы  $R_l$  [21].

$$P_l = \frac{U_l^2}{R_l}. \quad (1.2.1)$$

С другой стороны, температура нагревательной жилы является функцией количества тепла, выделяющегося в жиле, и термического сопротивления окружающих слоев [21]:

$$T_w - T_a = P_l \cdot (R_{cab} + R_d + R_a), \quad (1.2.2)$$

где:  $T_w$  – температура нагреваемой жилы;

$T_a$  – температура окружающей среды;

$R_{cab}$  – термическое сопротивление изоляции и оболочки кабеля (ленты);

$R_d$  – термическое сопротивление элементов обогреваемой конструкции;

$R_a$  – сопротивление теплопередаче в окружающую среду.

Когда определена допустимая линейная мощность, остается определить остальные характеристики нагревательной секции. По формуле (1.2.1) находится линейное падение напряжения, зная линейное сопротивление

нагреваемой жилы. После этого определяется длина и суммарная мощность одножильной нагревательной секции [21].

$$L_s = \frac{U}{U_l}, \quad (1.2.3a)$$

$$P_s = \frac{L_s}{P_l}, \quad (1.2.3б)$$

где:  $L_s$  – длина резистивной нагревательной секции;

$U$  – питающее напряжение;

$P_s$  – полная мощность одножильной резистивной секции.

При расчетах характеристик двухжильных секций с двумя нагревательными жилами также справедливы приведенные зависимости с учетом того, что при подаче питания только с одного конца под линейным падением напряжения понимается падение на одиночной жиле. В этом случае имеем [21]:

$$U_{2l} = \frac{U}{2 \cdot L_{2s}} \quad P_{2l} = 2 \cdot \frac{U_{2l}^2}{R_l} \quad L_{2s} = \frac{U}{2} \cdot U_{2l} \quad P_s = P_{2l} \cdot L_{2s} \quad (1.2.4)$$

где:  $L_{2s}$  – длина двухжильной нагревательной секции;

$U$  – питающее напряжение;

$U_{2l}$  – линейное падение напряжения на одиночной жиле;

$P_{2l}$  – линейная мощность двухжильной секции;

$P_s$  – полная мощность двухжильной секции;

$R_l$  – линейное сопротивление одной жилы.

В случае использования трехжильных кабелей и лент они подключаются по схеме «звезда» к трехфазному источнику [21].

Расчеты ведутся для одной из жил с учетом фазного напряжения. Общая мощность секции определяется как сумма мощностей отдельных жил.

При выполнении показанных выше вычислений определяющую роль играет линейная мощность. Как следует из формулы (1.2.2), линейная мощность определяется допустимой температурой для изоляции,

примыкающей к нагревательной жиле, и условиями эксплуатации. Наибольшие затруднения вызывает определение термического сопротивления обогреваемой конструкции. Наилучшие результаты дает применение компьютерного моделирования объекта обогрева. Однако, зачастую заранее неизвестна конструкция объекта и условия его работы. Удовлетворительные результаты дают расчеты линейной мощности, выполненные для кабеля, расположенного в спокойном воздухе, поскольку термическое сопротивление теплопередачи в этом случае достаточно велико [21].

Одиночный резистивный кабель в воздухе

В случае, если кабель имеет цилиндрическую форму термическое сопротивление изоляционных и защитных слоев кабеля определяется по общеизвестным формулам [21].

$$R_{cab} = \sum_i \frac{\ln D_i / d_i}{2\pi \lambda_i} \quad (1.2.5)$$

где:  $D_i$  – внешний диаметр соответствующего слоя;

$d_i$  – внутренний диаметр соответствующего слоя;

$\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности соответствующего слоя.

В случае, когда одна нитка кабеля находится в воздухе, термическое сопротивление теплопередаче от поверхности кабеля в окружающий воздух определяется из соотношения [21].

$$R_a = \frac{1}{\pi \cdot D_{cab} (\alpha_k + \alpha_r)} \quad (1.2.6)$$

где:  $D_{cab}$  – наружный диаметр кабеля;

$\alpha_k$  – коэффициент теплоотдачи за счет конвекции;

$\alpha_r$  – коэффициент теплоотдачи за счет излучения.

В свою очередь коэффициент радиационной теплоотдачи определяются из соотношения (1.2.7):

$$\alpha_r = \varepsilon \cdot C_o \cdot \frac{T_{cab}^2 - T_a^4}{T_{cab} - T_a} \quad (1.2.7)$$

где:  $T_{cab}$  – абсолютная температура поверхности кабеля, К;

$T_a$  – абсолютная температура окружающей среды;

$C_o$  – постоянная Стефана–Больцмана;

$\varepsilon$  – излучательная способность поверхности кабеля (степень черноты).

Коэффициент конвективной теплоотдачи определяются из соотношения (1.2.8) [21]:

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda_a}{D_{cab}} \quad (1.2.8)$$

где:  $Nu$  – критерий Нуссельта;

$\lambda_a$  – коэффициент теплопроводности воздуха при  $(T_{cab} - T_a)/2$ .

Значение критерия Нуссельта при свободной конвекции воздуха определяется по формуле (9), причем значения коэффициентов  $c$  и  $n$  в свою очередь зависят от значения произведения  $Gr \cdot Pr$  [21].

$$Nu = c \cdot (Gr \cdot Pr)^n \quad (1.2.9)$$

Критерии Грасгофа и Прандтля определяются из соотношений [21]:

$$Gr = \frac{g}{\nu_a^2} D_{cab}^3 \cdot \beta \cdot (T_{cab} - T_a) \quad (1.2.10a)$$

$$Pr = \frac{\mu_a \cdot c_a}{\lambda_a} \quad (1.2.10б)$$

где:  $g$  – ускорение свободного падения;

$\nu_a$  – кинематическая вязкость воздуха;

$\beta$  – температурный коэффициент объемного расширения воздуха;

$\mu_a$  – динамическая вязкость воздуха;

$c_a$  – теплоемкость воздуха.

## **Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В данном разделе рассчитываются затраты на исследование темы «Численное моделирование процесса обогрева промышленных трубопроводов»

### **4.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

В настоящее время устройства для обогрева промышленных трубопроводов могут быть применены на нефте- и газопроводах, для компенсации температурных потерь, в трубопроводах при транспортировке различного топлива, в условиях крайнего севера для стабилизации температуры. Продуктом нашего проекта будут результаты экспериментальных исследований, которые послужат научными основами для создания эффективной конструкции кабелей для обогрева. Также данные результаты могут быть использованы для изучения протекающих процессов теплопередачи. Результаты исследования обращены к тем, у кого возник интерес к исследованиям процессов, протекаемых в терморегуляторах, для создания научной базы, с целью разработать эффективную конструкцию терморегулятора. А также различным фирмам, компаниям и заводам, деятельность которых связана с теплоэнергетикой.

Потенциальными клиентам могут быть: нефте- и газоперерабатывающие станции, строительство трубопроводов в условиях крайнего севера).

Первым этапом необходимо провести сегментирование рынка услуг. Для этого приведем критерии, по которым будет проводиться анализ.

Таблица 4.1.1 – Карта сегментирования рынка

	Потребитель	
	Юридическое лицо	Гос. корпорации
Терморегулирующая аппаратура	1	2

Оценка степени значимости по шкале от 1 до 3.



## **4.2 Анализ конкурентных технических решений**

Анализ конкурентных технических решений проводится следующими методами и технологиями: QuaD, оценка конкурентных инженерных решений, SWOT-анализ, ФСА-анализ, метод Кано, морфологический анализ.

Рассмотрим с помощью технологии QuaD (QQualityADvisor), которая позволяет описывать качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяет принимать решение о целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. Анализ конкурентно технического решения проводим в табличной форме (таблица 1), где каждый показатель оценивается экспертным путем по 100-балльной шкале: 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 4.2.1 – Оценочная карта для сравнения технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,1	100	100	1	10
2. Помехоустойчивость	0,03	1	100	0,01	0,03
3. Надежность	0,075	100	100	1	7,5
4. Унифицированность	0,045	100	100	1	4,5
5. Уровень материалоемкости разработки	0,03	100	100	0,01	3
6. Безопасность	0,1	100	100	1	3
7. Уровень шума	0,03	100	100	1	10
8. Потребность в ресурсах памяти	0,03	1	100	0,01	0,03
9. Функциональная мощность	0,03	100	100	1	3
10. Простота эксплуатации.	0,045	100	100	1	4,5
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,03	100	100	1	3
12. Ремонтопригодность	0,075	100	100	1	7,5
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
13. Конкурентоспособность	0,03	100	100	1	3
14. Уровень проникновения на рынок	0,03	1	100	0,01	0,03
15. Перспективность рынка	0,045	100	100	1	4,5
16. Цена	0,1	1	100	1	0,1
17. Послепродажное обслуживание	0,045	100	100	1	4,5
18. Финансовая эффективность научной разработки	0,075	1	100	1	7,5
19. Срок выхода на рынок	0,03	1	100	0,01	0,03
20. Наличие сертификации разработки	0,03	100	100	0,01	3
Итого	1				78,72

В случае оценки конкурентной способности терморегулирующей аппаратуры средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки равно  $\Pi_{cp}=78,72$ , что позволяет судить о перспективности выше среднего.

### 4.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Внешняя среда состоит из макро- и микроуровня. В настоящей работе макроуровень отсутствует. Рассмотрим микроуровень:

#### Конкуренты

Конкурентами являются экспериментаторы и теоретики в области исследования терморегулирующей аппаратуры.

#### Поставщики

Поставщиками электронного оборудования и установки являются ГК «ССТ».

Аудиторией влияния являются руководители и сотрудники Томского Политехнического Университета.

Рассмотрим внутреннюю среду:

#### Проектный продукт и его характеристики

Продуктом нашего проекта будут результаты экспериментальных исследований, которые послужат научными основами для создания эффективной конструкции терморегуляторов. Также данные результаты могут быть использованы для изучения закономерностей совместно протекающих процессов кондукции и конвекции.

Основными средствами является: ЭВМ, программное обеспечение.

Оборотный капитал отсутствует.

Таблица 4.3.1 – Матрица SWOT-анализа

<p>Сильные стороны научно- исследовательского проекта:</p> <p>С1. Возможность получения новых, никем ранее не полученных, результатов</p> <p>С2. Применение полученных результатов в различных направлениях модернизации теплотехнических технологий в энергетике</p> <p>С3. Новое высокотехнологическое оборудование</p> <p>С4. Отсутствие капитальных затрат за счет автономности работы терморегулятора</p>	<p>Слабые стороны научно- исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Присутствие конкурентов</p> <p>Сл.2. Сложность создания необходимых условий</p> <p>Сл3. Большое количество дополнительных экспериментов</p> <p>Сл.4. Требуется много времени на исследование</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Новые теоретические знания, научные термины</p> <p>В2. Опыт проведения научных и экспериментальных исследований</p> <p>В3. Высокая актуальность в реализации проекта</p> <p>В4. Освоение нового оборудования и программного обеспечения</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление новых, активных и целеустремленных конкурентов</p> <p>У2. Большая погрешность измерений.</p> <p>У3 Увеличение цен на энергоресурсы</p> <p>У4. Отсутствие инвесторов</p> <p>У5. Высокий процент по кредитам</p>

Для того, чтобы определить необходимость стратегических изменений, необходимо выявить соответствие сильных и слабых сторон.

Таблица 4.3.2 – Интерактивная матрица по выявлению сильных сторон и возможностей

Сильные стороны					
Возможности		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	-
	B2	+	+	+	0
	B3	-	+	+	+
	B4	+	+	+	-

Анализ данной интерактивной таблицы показал коррелирующие сильные стороны и возможности: B1C1,C2,C3; B2C1,C2,C3; B3C2,C3,C4; B4C1,C2,C3. Далее рассмотрим корреляцию слабых сторон

Таблица 4.3.3 – Интерактивная матрица по выявлению слабых сторон и возможностей С

Слабые стороны					
Возможности		C1	C2	C3	C4
	B1	+	0	+	+
	B2	-	0	+	+
	B3	0	-	0	-
	B4	0	-	+	0

Корреляции слабых сторон и возможностей следующие: B1Cл1, Cл3, Cл4; B2Cл3, Cл4; B4Cл3.

Таблица 4.3.4 – Интерактивная матрица по выявлению сильных сторон и угроз.

Сильные стороны					
Угрозы		C1	C2	C3	C4
	У1	+	0	-	-
	У2	-	-	-	-
	У3	-	-	-	0
	У4	-	-	-	0
	У5	-	-	-	0

Возможна следующая корреляция сильных сторон и угроз: У1C1, C8.

Таблица 4.3.5 – Интерактивная матрица по выявлению слабых сторон и угроз

Слабые стороны					
Угрозы		C1	C2	C3	C4
	У1	+	-	-	-
	У2	-	+	+	+
	У3	0	-	-	-
	У4	-	-	-	-
	У5	-	-	-	+

Могут быть получены следующие результаты: У1Cл1; У2Cл2Cл3, Cл4; У5Cл4.

## 4.4 Планирование научно-исследовательской работы

### 4.4.1 Структура работ

Для выполнения работы, составляется план. В нем подсчитывается по пунктам трудоемкость работ, количество исполнителей, участвующих в проекте, расходы и текущие затраты: заработная плата, социальные отчисления.

Поэтапный список работ, работающие исполнители, оценка объема трудоемкости отдельных видов работ сведена в таблицу 4.4.1.1

Таблица 4.4.1.1 – Планирование работ и оценка времени их выполнения

№ п/п	Наименование работ	Исполнитель	Продолжительность дней
1	2	3	4
1	Выдача и получение задания	Научный руководитель	1
2	Обзор и анализ литературы	Инженер	5
3	Постановка задачи	Инженер	3
4	Разработка математической модели	Инженер	5
5	Аппроксимация полученных уравнений	Инженер	2
6	Верификация сформулированной математической модели	Научный руководитель	3
		Инженер	
7	Численное исследование эффективности работы терморегуляторов	Инженер	6
8	Проверка расчетов	Научный руководитель	1
		Инженер	
9	Оформление работы по стандартам ТПУ	Инженер	3
10	Утверждение ВКР руководителем	Научный руководитель	1
11	Итого	Научный руководитель	6
		Инженер	29

Таблица 4.4.1.2 – Календарный план

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>ki</sub> , кол.д н	Продолжительность выполнения работ										
				Апрель						Май				
				1-14	15	16-20	21-23	24-28	29-30	1-3	4-9	10	11-13	14
1	Выдача и получение задания	Научный руководитель	1											
2	Обзор и анализ литературы	Инженер	5											
3	Постановка задачи	Инженер	3											
4	Разработка математической модели	Инженер	5											
5	Аппроксимация полученных уравнений	Инженер	2											
6	Верификация сформулированной математической модели	Инженер	3											
		Научный руководитель												
7	Численное исследование эффективности работы терморегуляторов	Инженер	6											
8	Проверка расчетов	Научный руководитель	1											
		Инженер												
9	Оформление работы по стандартам ТПУ	Инженер	3											
10	Утверждение ВКР руководителем	Научный руководитель	1											

#### 4.5.1 Расчет материальных затрат

Теоретические исследования, а также моделирование системы требуют ряд программных продуктов: Microsoft Office, Mathcad, MATLAB, CODESYS, COMSOL и др. Большинство из них предоставляются бесплатно для студентов ТПУ, другие находятся в свободном доступе в сети «Интернет». Таким образом, затраты на материалы включают в себя расходы на канцелярские принадлежности, кабель для подключения к контроллеру лабораторного стенда. Для исследований используется персональный компьютер с бесплатным доступом к лицензии COMSOL Multiphysics 3.5a. В материальные затраты также включаются транспортно-заготовительные расходы (ТЗР) в пределах от 5% до 20% от общей цены материалов. Расчёт материальных затрат приведён в табл. 4.5.1.1.

Таблица 4.5.1.1 – Материальные затраты

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во, шт.	Сумма, руб.
Офисная бумага, упак. 500 листов	310	1	310
Тетрадь общая, 48 л.	50	1	50
Шариковая ручка	30	3	90
Патч-корд RJ-45, кат. 5е, 2м	300	1	300
<b>Итого</b>			<b>750</b>
<b>Итого с учётом ТЗР (10%)</b>			<b>825</b>

#### 4.5.2 Расчёт амортизационных отчислений

Написание выпускной квалификационной работы по плану занимает 5 месяцев. Для моделирования и проведения расчётов используется персональный компьютер первоначальной стоимостью 60000 рублей. Срок полезного использования для офисной техники составляет от 2 до 3 лет.

Норма амортизации  $H_A$  рассчитывается как:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\%, \quad (4.5.2.1)$$

где  $T$  – срок полезного использования, лет.



Если принять срок полезного использования равным 3 годам, тогда норма амортизации  $H_A$ :

$$H_A = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\% . \quad (6.5.2.2)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_{год} = 60000 \cdot 0,33 = 19800 \text{ руб.} \quad (6.5.2.3)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_{мес} = \frac{19800}{12} = 1650 \text{ руб.} \quad (6.5.2.4)$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 1650 \cdot 5 = 8250 \text{ руб.} \quad (6.5.2.5)$$

#### **4.5.3 Расчёт заработной платы и отчислений во внебюджетные фонды**

Оклад научного руководителя (в должности доцента) составляет 33 664 рублей. Оклад инженера принимается равным окладу соответствующего специалиста низшей квалификации, т.е. ассистента и составляет 12 664 рублей. В 2020 году с учётом 48-дневного отпуска 252 рабочих дня. Среднее количество рабочих дней в месяце составит 21 день. Среднедневная заработная плата для руководителя составит 1603,05 рублей в день, для инженера – 603,05 рублей в день.

Заработная плата включает в себя основную и дополнительную части. При этом основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{осн} = ЗП_{дн} \cdot T_{РД} \cdot (1 + K_{np} + K_{д}) \cdot K_p , \quad (4.5.3.1)$$

где  $ЗП_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб.;

$T_{\text{РД}}$  – трудоёмкость выполнения работы в рабочих днях;

$K_{\text{пр}}$  – коэффициент премирования;

$K_{\text{д}}$  – коэффициент доплат;

$K_{\text{р}}$  – районный коэффициент.

Результаты расчёта основной заработной платы по формуле 4.5.3.1 приведены в табл. 4.5.3.1.

Таблица 4.5.3.1 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$ЗП_{\text{дн}}$	$K_{\text{р}}$	$K_{\text{д}}$	$K_{\text{пр}}$	$T_{\text{РД}}$	$ЗП_{\text{осн}}$ , руб
Руководитель	1603,05	0,1	0,2	1,3	9,72	26332,98
Инженер	603,05	0	0,2	1,3	79,32	74620,92
<b>Итого</b>						<b>100953,9</b>

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{доп}} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,12 , \quad (4.5.3.2)$$

где  $ЗП_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Отчисления во внебюджетные фонды в соответствии с Налоговым кодексом РФ рассчитываются по формуле:

$$ЗП_{\text{внеб}} = (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) \cdot 0,3 , \quad (4.5.3.3)$$

где  $ЗП_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.;

$ЗП_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.

Результаты расчётов по формулам 4.5.3.2 и 4.5.3.3 приведены в табл. 4.5.3.2.

Таблица 4.5.3.2 – Расчёт дополнительной заработной платы и отчислений

Исполнители	$ЗП_{\text{доп}}$	$ЗП_{\text{внеб}}$
Руководитель	3159,96	8847,88
Инженер	8954,51	25072,63
<b>Итого</b>	<b>12114,47</b>	<b>33920,51</b>

Накладные расходы принимаются в размере 10% от величины всех остальных расходов.

#### **4.5.4 Расчёт общей себестоимости**

Рассчитанные в пунктах 4.5.1-4.5.3 расходы сведены в таблицу 4.5.4.1.

Таблица 4.5.4.1 – Суммарные расходы

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	825	0,464
Затраты на амортизацию	8250	4,64
Основная заработная плата	100953,9	58,93
Дополнительная заработная плата	12114,47	7,07
Страховые взносы	33920,51	19,8
Накладные расходы	15606,39	9,09
<b>Итого</b>	<b>171670,27</b>	<b>100</b>

В ходе подсчёта затрат на разработку проекта выявлено, что основная часть (63%) средств расходуется на заработную плату исполнителей.

## **Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

В данном разделе оценены экономические аспекты исследуемого подхода к построению системы автоматического регулирования температуры:

1. Выявлены потенциальные потребители результатов исследования. Разработка может быть применена на нефте- и газоперерабатывающих станциях, строительстве трубопроводов, (см. подраздел 5.1).

2. Проведён анализ конкурентных технических решений. В случае оценки конкурентной способности терморегулирующей аппаратуры средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки равно  $P_{cp}=78,72$ , что позволяет судить о перспективности выше среднего (см. подраздел 5.2).

3. В ходе SWOT-анализа основными угрозами обозначены: Присутствие конкурентов: Сложность создания необходимых условий; Большое количество дополнительных экспериментов. Возможные пути снижения влияния выявленных угроз представлены в подразделе 5.3.

4. Подсчёт затрат на разработку позволяет заключить, что основной статьёй расходов в научно-исследовательской работе является заработная плата исполнителей: основная – 100953,9 руб. (58,93%), дополнительная – 12114,47 руб. (7,07%). На втором месте страховые взносы – 33920,51 руб. (19,8%). Затем идут накладные расходы – 15606,39 руб. (9,09%). Меньше всего средств уходит на амортизацию оборудования – 8250 руб. (4,64%) и на материальные затраты – 825 руб. (0,464%). Общий бюджет разработки составил 171670,27 руб. При этом запланированная продолжительность работы составляет 36 дней.

В целом, эффективность исследуемого подхода предварительного моделирования системы в каждом конкретном случае можно оценить исходя из вероятных затрат на восстановление работоспособности объекта при ошибке разработчика или оператора системы автоматического регулирования.

## **Глава 5. Социальная ответственность**

### **Введение**

Безопасность человека на производстве является сложной многоуровневой задачей, одним из аспектов которой является социальная ответственность. Практика решения вопросов охраны труда на производстве показывает, что инженерно-технические решения этих вопросов, не могут обеспечить полностью качественную и эффективную защиту работников. Необходимо учитывать человеческий фактор, в том числе, повышать социальную и моральную ответственность работодателей за создаваемые условия труда.

Задачами социальной ответственности являются:

- снижение неблагоприятных воздействий производственных факторов на работника, т.е. установление оптимальных соотношений между факторами производственной среды;
- установление определенных норм допустимых значений каждого из неблагоприятных факторов;
- контроль законодательных органов за соблюдением и выполнением норм допустимых значений;
- обеспечение безопасности выполнения работ как для исполнителя, так и для окружающих;
- разработка конкретных мероприятий по оздоровлению условия труда;
- использование рациональных технических средств защиты работающих от влияния неблагоприятных факторов;
- разработка методов оценки эффективности планируемых и проведенных мероприятий по оздоровлению условий труда.

В процессе выполнения данной работы вопросы социальной ответственности затронули как непосредственных исполнителей работы

(индивидуальная), так и Томский политехнический университет (корпоративная).

Данная выпускная квалификационная работа посвящена численному моделированию обогрева промышленных трубопроводов.

Объектом исследования являются магистральные газопроводы, проложенные надземным способом на участках многолетнемерзлых грунтов.

Выполнение дипломной работы проводилось на компьютере в аудитории № 48 учебного корпуса № 4 НИ ТПУ. В данном разделе будут рассмотрены вопросы техники безопасности и охраны труда компьютерной аудитории.

## **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### *Режим рабочего времени*

В соответствии с частью второй ст. 57, ст. 100 ТК РФ режим рабочего времени и времени отдыха устанавливается правилами внутреннего трудового распорядка в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права, коллективным договором, соглашениями, а для работников, режим рабочего времени которых отличается от общих правил, установленных у данного работодателя, – трудовым договором [30].

При этом в силу прямого указания части первой ст. 100 ТК РФ режим рабочего времени должен предусматривать, в частности, продолжительность рабочей недели (пятидневная с двумя выходными днями, шестидневная с одним выходным днем, неполная рабочая неделя и т.п.), а также чередование рабочих и нерабочих дней [30].

### *Защита персональных данных работника*

Персональные данные работника - это информация, необходимая работодателю в связи с трудовыми отношениями и касающаяся конкретного работника.

Главой 14 Трудового кодекса Российской Федерации в целях соблюдения конституционных норм и обеспечения прав и свобод человека и гражданина предусмотрена защита персональных данных работника и их обработка, при этом законодателем определены общие требования при обработке персональных данных работника и гарантии их защиты работодателем и его представителем [30].

### *Права работника*

Согласно ТК РФ, ФЗ № 197 – каждый работник имеет право на [30]:

1. обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
2. получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
3. отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
4. обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;

5. повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу с вредными и опасными условиями труда;

Требования к организации трудовой зоны регулируются:

- СанПиНом;
- СНиПом и т. д.

Эти нормы преследуют одну цель – они призваны обеспечить безопасные и комфортные условия труда на рабочих местах трудящихся, предупредить возникновение у них профессиональных заболеваний и несчастных случаев. Комплекс мероприятий, направленных на достижение этой цели, принято называть охраной труда. Рассмотрим основные требования охраны труда к рабочему месту работника.

#### *Требования, предъявляемые к рабочему месту*

Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [36]:

1. рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество;
2. рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте;
3. рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам.

#### *Интерьер помещения*

В соответствии с СН-181-70 рекомендуются следующие цвета окраски помещений: потолок – белый или светлый цветной; стены – сплошные, светло-голубые; пол – темно-серый, темно-красный или коричневый. Применение указанной палитры цветов обусловлено ее успокаивающим воздействием на психику человека, способствующим уменьшением зрительного утомления.



При выполнении интерьера, обычно выбирают не более трех основных цветов небольшой насыщенности. Окраска оборудования и приборов, в основном, имеет светлые цвета с высококонтрастными органами управления и надписями к ним [37].

## 5.2 Производственная безопасность

Таблица 4.2.1 – Выявление опасных и вредных факторов

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
	+	+	+	1. С точки зрения электробезопасности (ГОСТ 12.1.030-81) оборудование, запитываемое напряжением выше 42 В. [38].
1. Повышенное значение напряжения в электрической сети, замыкание которой может пройти через тело человека	+	+	+	2. Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно ГОСТ 12.1.005-88 [39].
2. Отклонение показателей микроклимата в помещении.	+	+	+	3. В соответствии с характером выполняемых работ освещенность рабочего места по СНиП II-4-79 [40].
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны.	+	+	+	4. Безопасные уровни излучений регламентируются нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [41].
4. Повышенный уровень электромагнитного излучения	+	+	+	5. Оценки радиации СанПиН 001-96[42].
5. Повышенный уровень шума	+	+	+	6. Общие требования к уровню шума изложены в ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [43].

### 5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.

Данное исследование непосредственно связано с компьютером, а, следовательно, с дополнительным воздействием целой группы вредных и опасных факторов, что существенно снижает производительность труда.

*Вредные факторы ультрафиолетового, инфракрасного и электромагнитного излучения*

Монитор является сильным источником электромагнитного излучения, особенно его задние и боковые стенки, так как они не имеют специального защитного покрытия, которое есть у лицевой части экрана.

В рассматриваемой аудитории применяются мониторы с использованием плоских жидкокристаллических дискретных экранов. Спектр излучения компьютера включает в себя рентгеновскую, ультрафиолетовую и инфракрасную области спектра, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Опасность рентгеновских лучей считается пренебрежимо малой, поскольку этот вид лучей поглощается веществом экрана.

Максимальный уровень рентгеновского излучения на рабочем месте оператора компьютера обычно не превышает 10 мкбэр/ч, а интенсивность ультрафиолетового и инфракрасного излучений от экрана монитора лежит в пределах 10–100 мВт/м<sup>2</sup> [41, 42].

*Отклонение параметров микроклимата*

Особые требования предъявляются к микроклимату в помещении. Дело в том, что слишком высокая или чрезмерно низкая температура окружающего воздуха является одним из факторов, угнетающих работоспособность.

Поэтому [31]:

- при температуре на улице ниже 10 °С в помещении должно быть не менее 22 – 24 °С тепла;

- при температуре на улице более 10 °С в помещении температура должна находиться в пределах 23 – 25 °С.

При несоблюдении этих нормативов продолжительность трудового дня сокращается согласно условиям СанПиНа 2.2.4.3359-16 от 21.06.2016 № 81 [34].

В соответствии с СН-245-71 в помещении должен быть организован воздухообмен. Для улучшения воздухообмена необходимо выполнить следующие технические и санитарно-гигиенические требования: общий объем притока воздуха в помещении должен соответствовать объему вытяжки; правильное размещение приточной и вытяжной вентиляции [36].

Рабочее помещение предназначено для организации лёгкой категории работ 1а. Работа за компьютером производится сидя и не требует приложения физического напряжения или переноски тяжестей. Нормы метеорологических условий учитывают время года и характер производственного помещения.

Микроклимат на рабочем месте в производственных помещениях определяется согласно [31, 39] температурой воздуха, относительной влажностью, скоростью движения воздуха, барометрическим давлением и интенсивностью теплового излучения от нагретых поверхностей.

В таблице 5.1.1.1 приведены нормы метеоусловий для категорий работ по тяжести 1а согласно [39].

Таблица 5.2.1.1 – Нормы метеоусловий

Холодный период года $t_{\text{нар}}^{\text{возд}}$ ниже +10, °С						Тёплый период года $t_{\text{нар}}^{\text{возд}}$ +10, °С					
Оптимальные			Допустимые			Оптимальные			Допустимые		
Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
22-24	40-60	Не более 0,1	20-25	15-75	Не более 0,3	23-25	40-60	Не более 0,1	21-28	15-75	0,1-0,2

Данное помещение не имеет искусственной вентиляции. Воздухообмен осуществляется за счёт естественного неорганизованного перемещения воздуха, направленного на вытяжку воздуха из помещения.

#### *Недостаточная освещенность рабочей зоны*

В СанПиНе 2.2.1/2.1.1.1278-03 прописаны нормативы для освещения. Так, освещенность в помещении должна быть в пределах от 300 до 500 люкс. Если же без искусственного освещения обойтись нельзя, начальник должен постараться, чтобы оно обеспечивало хорошую видимость информации, выдаваемой экраном ПК. В качестве устройств для местного освещения можно использовать светильники, устанавливаемые на столах [35].

В соответствии с санитарными нормами и правилами качественное освещение играет важную роль в обеспечении безопасной и продуктивной работы. Освещение влияет на общее состояние человека его безопасность и производительность труда. Максимальная производительность труда соответствует оптимальной освещенности. При недостаточной или непостоянной освещенности орган зрения вынужден напрягаться и

приспосабливаться, что способствует ухудшению зрительного органа, потери внимательности, быстрой утомляемости человека [35, 40].

Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное освещение. Также немаловажно наличие хорошего искусственного освещения, которое обеспечивает возможность работы в помещении в пасмурное или ночное время суток и при различных климатических условиях. Рассматриваемая аудитория относится к 1 группе, включающая помещения, в которых производится различение объектов зрительной работы при фиксированном направлении линии зрения, нормированное значение освещённости рабочей поверхности составляет 300 лк [42].

Поскольку естественное освещение не обеспечивает достаточную освещённость рабочих поверхностей, то используется так же и искусственное освещение за счёт люминесцентных ламп. Согласно [40] при организации естественного освещения мониторы должны быть расположены боковой стороной по отношению к оконным проёмам, так чтобы свет падал преимущественно слева. Для части рабочих мест в аудитории – это условие выполняется.

#### *Повышенный уровень шума*

Максимальный порог уровня шума на производстве составляет 80 децибел. Эта информация содержится в СанПиНе 2.2.4.3359-16. В связи с этим требования к рабочему месту на производстве предусматривают при оборудовании помещения применение шумоизоляционных материалов [32].

Немаловажной частью обеспечения эффективной работы являются мероприятия по снижению уровня шума до комфортных значений. Шум оказывает негативное влияние на весь организм. Основным источником шумов в рассматриваемой аудитории является система охлаждения компьютерной техники. По характеру спектра данный шум является

широкополосным. В соответствии с [32, 43] уровень шума на рабочем месте не должен превышать 80 дБ.

*Повышенное значение в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека*

Электробезопасность в производственных условиях обеспечивается соответствующей конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями.

Травмы от поражения электрическим током могут быть получены в результате прикосновения человека к незащищенным токопроводящим элементам оборудования, случайного поражения статическим электричеством, образовавшимся на элементах электрооборудования, или в результате пробоя изоляции токопроводящих частей. Так же одной из причин является несоблюдение техники безопасности и правил эксплуатации оборудования.

### **5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя.**

*Обеспечение снижения уровня электромагнитного излучения*

Способы защиты от электромагнитного излучения компьютера:

а) как можно чаще прерывать работу, а также по возможности максимально сократить время работы за компьютером;

б) монитор и системный блок должен находиться как можно дальше от человека.

Допустимые значения параметров неионизирующих электромагнитных излучений от монитора компьютера [41] представлены в таблице 5.2.2.1.

Таблица 5.2.2.1 – Допустимые уровни ЭМП

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

#### *Обеспечение надлежащего микроклимата в помещении*

Количество приточного воздуха при естественной вентиляции должно быть не менее 30 м<sup>3</sup>/ч на одного человека, при объёме помещения приходящегося на него менее 20 м<sup>3</sup>. В рассматриваемом помещении располагается 9 рабочих мест при объёме помещения равном 252 м<sup>3</sup>. Таким образом, на каждого человека приходится приблизительно 28 м<sup>3</sup> пространства помещения. Таким образом, естественный воздухообмен не обеспечивает необходимые санитарные нормы и требует повышения качества вентиляции. Повышения качества вентиляции можно осуществить путём установки систем механической вентиляции и кондиционирования. Допустимые нормы по запылённости должны соответствовать санитарным нормам для ПДК веществ 4-ого класса опасности, более 10 мг/м<sup>3</sup>, и требуют влажной ежедневной двухразовой уборкой пола в помещении [36, 39].

#### *Обеспечение санитарных норм по освещению*

Для обеспечения комфортной работы на всех рабочих местах ниже приведен расчет искусственного освещения рабочего помещения. Для обеспечения равномерного освещения в помещении используется общее освещение, т.к. нет необходимости в лучшем освещении отдельных участков.

В рабочем помещении, имеющем размеры: длину А, ширину В, высоту Н, используется система общего искусственного люминесцентного освещения и выполняется работа, требующая освещенности 300 лк.

Оптимальное светораспределение обеспечивается применением закрытых четырёхламповых светильников с использованием люминесцентных ламп типа ЛБ. Созданное в аудитории искусственное освещение обеспечивает возможность работы в помещении в любое время суток и при любых метеоусловиях.

#### *Обеспечение санитарных норм по уровню шума*

В качестве мер по снижению уровня шума используется размещение вентиляторов в защитном кожухе внутри корпуса, либо улучшение конструкции персональных компьютеров.

#### *Обеспечение электробезопасности*

В связи с изложенными выше опасностями к самостоятельной работе в компьютерной аудитории допускаются лица, не моложе 18 лет, которые прошли инструктаж по технике безопасности. В рассматриваемом помещении, с целью снижения рисков поражения электрическим током, в оборудовании применяется изоляция токопроводящих элементов. Оборудование, находящееся под напряжением, имеет защитные кожухи, т.е. корпуса компьютеров. Они обеспечивают защиту от случайного прикосновения к токопроводящим элементам компьютера, а также предохраняют оборудование от попадания в него посторонних предметов и влаги.

Для предупреждения и предотвращения электрическим током в помещении применяются следующие мероприятия:

а) контроль состояния и своевременное устранение неисправности оборудования;

б) регулярная проверка изоляции;



в) соблюдение техники безопасности и правил работы с оборудованием;

г) установка защитных устройств, таких как автоматические выключатели и сетевые фильтры.

На основе предыдущих исследований можно сделать вывод, что согласно действующими правилами устройства электроустановок данное помещение относится к помещениям с повышенной опасностью. В нём отсутствует искусственная вентиляция, а естественная не обеспечивает необходимой циркуляции воздуха, что приводит к периодическому длительному повышению температуры воздуха свыше 30 °С.

### **5.3 Экологическая безопасность**

В целом влияние строительных работ на окружающую среду при сооружении трубопроводов принципиально не отличается от воздействий на нее при возведении других промышленных объектов. Вырубка просеки и прокладка подъездных путей приводят к гибели растительности. В свою очередь, ее уничтожение в значительной степени затрагивает беспозвоночных животных, для которых растительный покров является основным местообитанием. В первую очередь сокращается число членистоногих. Вместе с растительностью уничтожаются также гнезда птиц.

Большое значение имеет фактор беспокойства. Вследствие шумового воздействия в период строительства объектов прилегающие территории становятся биологическими пустынями. Воздействие транспортной и строительно-монтажной техники приводит к деградации почвенного покрова [45].

## *Воздействие эксплуатации трубопроводов на окружающую среду*

На этапе эксплуатации трубопроводов источниками являются:

- излучение от терморегуляторов;
- сами трубопроводы;
- перекачиваемые продукты;
- тепло транспортируемой по трубопроводу среды.

Эксплуатация трубопроводов затрагивает многие природные компоненты:

- почвы;
- атмосферный воздух;
- геоморфологическую среду и т.д.

Рассмотрим характер этого воздействия на отдельные природные компоненты.

### Почвы

Загрязнение почвы вызывает изменение ее микроэлементного состава, водно-воздушного и окислительно-восстановительного режима. Появившийся избыток органических углеводородсодержащих веществ нарушает нормальное соотношение углерода и азота, а также приводит к дефициту кислорода.

### Атмосферный воздух

Влияние трубопроводов на атмосферу выражается в изменении химического состава воздуха и тепловом загрязнении. Наиболее сильным источником воздействия являются терморегуляторы. При нормальном режиме эксплуатации загрязнение атмосферного воздуха незначительно, либо происходит вследствие сливно-наливных операциях на перекачивающих станциях, в случае утечек газа и т. д.

### *Воздействие эксплуатации трубопроводов на человека*

- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- воздействие на организм электрического тока;
- токсичность нефтепродуктов, щелочей и других вредных веществ.

### **Безопасность в ЧС**

Магистральные трубопроводы, проложенные в регионах холодного климата, относятся к критически важным объектам, и обеспечение их безопасности является первостепенной задачей, а их защищенность рассматривается как важнейший показатель по критериям риска, так как нарушение их работы влияет на состояние безопасности окружающей природной среды.

Под влиянием климатических факторов особенностью формирования бугров пучения является то, что они замерзают сверху, а поток воды образуется снизу. Суммарная влажность грунта в зоне промерзания увеличивается. При замерзании, за счет увеличения льдистости объем замершего грунта увеличивается и, непрерывно намерзая снизу, лед выпирает грунт, образуя бугор пучения. Укладка трубопровода в бугор пучения не допускается, т.к. трубопровод в бугре пучения будет работать на изгиб и может разорваться даже при сохранении мерзлоты с момента укладки трубопровода

Практика эксплуатации нефтепроводов в районах мерзлых грунтов показывает, что при любом способе прокладки, будь то подземный или надземный, тепловое взаимодействие сооружений с мерзлым массивом неизбежно и, в конечном результате, приводит к изменениям проектных отметок оси трубопровода. При значительных отклонениях от проекта трубопровод теряет устойчивость и может произойти разрыв трубы. Не

является надежным даже способ прокладки нефтепровода на промораживаемых опорах.

При анализе риск-факторов магистральных трубопроводов следует разделять природные и техногенные риски.

К природным относятся такие факторы, как наличие снежного покрова различной толщины; наводнения; затопления объектов нефте- и газопроводов; подводные переходы; лесные пожары; изменения ландшафта; землетрясения; термоэрозия; термокарстовые явления; ветровые нагрузки; обледенение; оползневые участки; заболачивание трассы.

К техногенным рискам можно отнести следующие: ошибки в проектировании; коррозия металла; ошибки персонала; отказ оборудования; перемещение трубопровода при взаимодействии с мерзлыми грунтами; нерегулярное электроснабжение; изменение ландшафта после прокладки трубопроводов; образование трещин-свищей; образование газоконденсатных и гидратных пробок; изменение пластичности и предела текучести металла; длительность эксплуатации, старение изоляции.

Помимо факторов риска, связанных с техническим состоянием объектов магистральных трубопроводов, необходимо учитывать такие обстоятельства, как близость трубопровода к населенным пунктам и природным объектам, подверженным экологическому загрязнению; внешние антропогенные (например, несанкционированные врезки в магистральный трубопровод), а также природные воздействия (землетрясения, оползни).

Для предупреждения возникновения внештатных ситуаций при транспортировке углеводородного сырья необходимо разработать систему мониторинга на случаи возникновения аварийных ситуаций, выявить потенциально опасные участки прохождения трубопроводов. Выявление таких участков наряду с аэровизуальным обследованием, мониторингом

планово-высотного положения трубопровода, внутритрубной диагностикой, исследованием напряженно-деформированного состояния проводится с помощью технических средств и позволяет определить причины потери устойчивости трубопроводов.

### **Вывод по главе**

В ходе анализа основных вредных и опасных факторов в исследуемой аудитории можно сделать вывод, что в ней предусмотрены все необходимые меры по предотвращению возможностей возникновения ЧС и снижению их последствий. Так же проведен анализ возможных ЧС на магистральных трубопроводах в холодное время года и пути решения этой проблемы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведено численное исследование обогрева промышленных трубопроводов на тепловые потери теплотехнического оборудования.

Результаты численного моделирования позволяют оценить степень энергоэффективности используемых нагревательных элементов для поддержания соответствующих режимов, а также о влиянии на тепловые потери температуры наружного воздуха и количества используемых нагревателей.

А также изучена проблема, разработана программа, рассчитаны с помощью вариации количество нагревателей, были сделаны следующие выводы для поддержания нормальной работы нефтепровода:

Установлено, что в зависимости от варьируемых параметров тепловые потери рассматриваемой системы изменяются от 8,335 до 65,903 Вт/м. Экспериментальным путем установлено, что при температуре наружного воздуха 233 и 253 Кельвина необходимо включать 3 нагревателя, а при температуре 273 Кельвина 2 нагревателя.

Результаты численного моделирования, приведенные в таблице 3.2.1, позволяют сделать вывод о том, что с понижением температуры наблюдается снижение тепловых потерь на 25 %.

### **Список используемых источников:**

1. М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, А.Б. Кувалдин. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли. – М.: Инфра-Инженерия, 2015.
2. Попов С. С. Транспорт нефти, нефтепродуктов и газа. - М.: Гос. научно-техническое изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, 1960. – 310с.
3. Официальный сайт ГК «Газовик» URL:  
<http://gazovik-pgo.ru/cat/articles/obogrev/> (дата обращения: 18.04.2020)
4. Д.И. Менделеев / Журнал «Промышленный обогрев и электроотопление», №1, 2011.
5. Транспорт и хранение высоковязких нефтей и нефтепродуктов. Применение электроподогрева / Р.Н. Бахтизин, А.К. Галлямов, Б.Н. Мастобаев и др. – М.: «Химия», 2004. – 196 с.
6. Фонарев З.И. Электроподогрев трубопроводов, резервуаров и технологического оборудования в нефтяной промышленности. – Л.: Недра, 1984. – 148 с.
7. Стандарт МЭК 60800 издание 2.0, 1992-04. Нагревательные кабели с номинальным напряжением 300/500 В для комфортного обогрева (помещений) и предотвращения образования льда.
8. Стандарт МЭК 60800 издание 3.0, 2009-07. Нагревательные кабели с номинальным напряжением 300/500 В для комфортного обогрева (помещений) и предотвращения образования льда.
9. ГОСТ 15845-80. Изделия кабельные. Термины и определения.
10. ГОСТ Р МЭК 60079-30-1-2009. Взрывоопасные среды. Резистивный распределенный электронагреватель. Часть 30-1. Общие технические требования и методы испытаний.

11. ГОСТ Р МЭК 60079-30-2-2009. Взрывоопасные среды. Электронагреватель резистивный распределенный. Часть 2. Требования по проектированию, установке и обслуживанию.
12. Стандарт МЭК 63395-1 издание 1, 2006-08. Резистивные системы электрообогрева для промышленного и коммерческого применения. Часть 1. Общие положения и требования к испытаниям.
13. Technical Specification IEC/TS 62395-2, edition 1.0 2008-08 (Стандарт МЭК 63395-2 издание 1, 2008-08). Резистивные системы электрообогрева для промышленного и коммерческого применения. Часть 2. Требования по проектированию, установке и обслуживанию.
14. Руководство по выбору саморегулирующихся систем обогрева. Каталог фирмы Tyco Electronics Raychem GmbH. б/г.
15. «Тепломаг» Электрообогрев трубопроводов и резервуаров. Каталог компании «Специальные системы и технологии». 2009. - 96 с.
16. СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»
17. СП 41-103-2000 «Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов»
18. ГОСТ Р МЭК 62086-1-2005 «Нагреватели сетевые электрические резистивные» Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ. 2006
19. ГОСТ Р МЭК 62086-2-2005 «Нагреватели сетевые электрические резистивные». Требования по проектированию, установке и обслуживанию. – М.: Стандартинформ. 2006
20. ГОСТ Р МЭК 60079-30-1-2010 «Резистивный распределенный электронагреватель» Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ. 2010
21. Программа расчета тепловых потерь трубопроводов, подбора саморегулирующихся нагревательных кабелей и комплектующих. «Тепломаг Pro» v. 4.0.1.1. Разработка ООО «ССТ», 2010



22. Коршак А.А., Нечваль А.М. Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа. Учебное пособие. – Уфа: «ДизайнПолиграфСервис», 2005. – 516 с.
23. Шайдуров В. В. Многосеточные методы конечных элементов. М.: Наука, 1989. – 288 с.
24. Пехович А. И., Жидких В. М. Расчеты теплового режима твердых тел. Л.: Энергия, 1976. – 351 с.
25. Закожурников Ю.А. Транспортировка нефти, нефтепродуктов и газа: учебное пособие для СПО. – Волгоград; «Ин-Фолио», 2010, - 432 с.
26. В. Таранов. Расчетная программа «Гидравлический расчет напорных трубопроводов» Версия 5.1.0. от 22.05.2005. НПФ «Водные технологии»
27. Официальный сайт НП «АВОК»  
<https://www.abok.ru/pages.php?block=gold27> (дата обращения: 15.05.2020)
28. Хижняков С.В. Практические расчеты тепловой изоляции (для промышленного оборудования и трубопроводов). Изд.3-е, перераб. М., «Энергия», 1976.
29. Гува А. Я. Краткий теплофизический справочник. – Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.
30. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).
31. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
32. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
33. СанПиН 2.2.2.1332-03. Гигиенические требования к организации работы на копировально-множительной технике.
34. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

- 35. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
- 36. СН-245-71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.
- 37. СН 181-70. Указания по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий.
- 38. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
- 39. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 40. СНиП II-4-79. Естественное и искусственное освещение.
- 41. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
- 42. МСанПиН 001-96. Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях
- 43. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- 44. Телегин Л.Г., Ким Б.И., Зоненко В.И. Охрана окружающей среды при сооружении и эксплуатации газонефтепроводов. – М.: Недра, 1988. – 188 с.